



## METAHEURÍSTICAS PARA A ELABORAÇÃO DE GRADES HORÁRIAS UNIVERSITÁRIAS

**Gabriel S. Vasconcelos** – gsantana87@yahoo.com.br

**Celso S. Sakuraba** – sakuraba@ufs.br

Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Produção  
Cidade Universitária Prof. Aloísio de Campos, Av. Mal. Rondon, S/N  
49100-000 – Aracaju - SE

**Resumo:** *A elaboração da grade de horários nas universidades é um trabalho contínuo e, geralmente, de difícil solução. Frequentemente a solução é obtida de forma manual devido à falta de ferramentas computacionais adequadas. Este é um problema de otimização combinatória, com o objetivo de alocar disciplinas e professores aos horários letivos, de modo que sejam observadas e respeitadas as restrições existentes em cada caso. O presente estudo traz uma visão genérica do problema e expõe abordagens metaheurísticas comumente utilizadas na resolução dos problemas de elaboração de grades horárias universitárias de modo automatizado, a fim de conscientizar a comunidade acadêmica para a sua importância cada vez mais crescente. Dentre as abordagens encontram-se os algoritmos genéticos, busca local iterativa, arrefecimento simulado e busca tabu.*

**Palavras-chave:** *Elaboração de grade horária, Algoritmos genéticos, Busca local iterativa, Arrefecimento simulado, Busca tabu.*

### 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Hillier e Lieberman (2001), alguma estratégia ou decisão que é boa para um setor frequentemente é prejudicial para outro, de modo que esses setores podem trabalhar com propósitos contrários. A alocação dos recursos disponíveis de modo mais efetivo para a organização como um todo se torna mais difícil à medida que a complexidade e a especialização dela aumentam. São esses tipos de problemas e necessidades de se encontrar

uma melhor maneira para solucioná-los que proporcionam o ambiente para a pesquisa operacional, mais comumente referida como PO.

A importância da resolução efetiva de problemas nunca foi tão grande. A tecnologia permitiu que o homem tivesse a habilidade de mudar o ambiente de tal forma que as decisões tomadas hoje podem ter consequências irrevogáveis no futuro. Essa tecnologia também aumentou o número de pessoas que interagimos e que podem afetar nossas rotinas. Como consequência disso, a resolução de problemas se torna cada vez mais difícil porque há mais fatores que influem diretamente nos problemas a se considerar. Dessa forma, há muita coisa a ganhar a partir da resolução de problemas e um grande prejuízo em resolvê-los de uma maneira deficiente (MICHALEWICZ e FOGEL, 2000).

Dentre os problemas do mundo real de difícil solução, observam-se os problemas de programação de horários, ou seja, aqueles existentes na elaboração de grades horárias universitárias. Segundo Arenales *et al.* (2007), esses problemas fazem parte do cotidiano de instituições educacionais na forma da dificuldade de encontrar soluções satisfatórias na confecção de um quadro de horários que satisfaça os requisitos essenciais, as restrições *hard*, e não essenciais, as restrições *soft*, motivando a pesquisa e o desenvolvimento de ferramentas de confecção automatizada de horários.

Michalewicz e Fogel (2000) trazem que um dos pré-requisitos para o tratamento desse tipo de problema é a habilidade para manipular um arsenal de técnicas de resolução de problemas, os algoritmos, que foram desenvolvidos para uma variedade de condições.

Porém, os problemas de difícil solução apresentam circunstâncias que são pouco ou consideravelmente diferentes do que as requeridas por esses métodos. Por exemplo, um problema onde a função objetivo e as restrições são lineares, apresentando um método rápido e confiável, é quase sempre aplicado inapropriadamente nas circunstâncias do mundo real, onde a função objetivo e as restrições são quase sempre não-lineares. Então, ao se utilizar esse método pode ser obtida uma resposta certa para o problema errado (MICHALEWICZ e FOGEL, 2000).

Isso pode implicar em uma perda de eficiência pela não utilização de um método mais adequado para se encontrar uma melhor solução, como também uma perda de competitividade diante de um concorrente que trate a situação adequadamente e encontre uma solução melhor. Por outro lado, isso também pode implicar em uma vantagem, caracterizando-se por encontrar uma solução aproximada em um intervalo curto de tempo pode ser uma vantagem competitiva quando o concorrente usa um procedimento muito lento e exato, pois ter uma solução aproximada pode ser melhor do que ter que esperar por uma solução superior.



Assim, este estudo mostra-se relevante à medida que as universidades federais brasileiras aumentaram a oferta de cursos e vagas nos seus campi. Com isso, torna-se extremamente importante a aplicação de um ferramental computacional no auxílio à elaboração das grades de horário pelas coordenações dos departamentos e núcleos dentro das universidades.

## 2. PROBLEMAS DE ELABORAÇÃO DE GRADES HORÁRIAS

Schaerf (1999) considera que, a depender do tamanho, uma solução manual para o problema de grade horária requer muitos dias de trabalho de uma pessoa. Além de que a solução obtida pode ser insatisfatória em algum aspecto, seja para um aluno que desejava se matricular em uma dada disciplina, mas não conseguiu devido à alocação do horário, ou um professor que desejava lecionar no período da tarde, mas terá que dar aulas também à noite.

Este problema consiste na alocação de uma sequência de aulas entre estudantes e professores em um período pré-determinado de tempo, satisfazendo um conjunto de restrições de vários tipos. Essa definição se mostra eficaz mesmo diante das variações desse problema, com diferenças baseadas no tipo de instituição e das restrições envolvidas (SCHAERF, 1999).

Essas variações são classificadas em três classes principais de problemas: grades horárias escolares; grades horárias universitárias; grades horárias de provas e avaliações (SCHAERF, 1999).

Para Lewis (2007), as classes de problemas de grades horárias universitárias e de provas e avaliações podem apresentar características similares, a depender da universidade objeto de estudo, mas a principal diferença é quanto à ocorrência de diferentes eventos em um mesmo local e quanto aos horários disponíveis na semana para a realização dos eventos.

De acordo Burke *et al.* (2003), os problemas de grades horárias de cursos universitários são conhecidamente problemas difíceis do mundo real e têm sido estudados ao longo das últimas décadas. De Werra (1985) traz que, uma das razões para o aparecimento de muitas contribuições relacionadas ao tema deve ser a grande variedade de problemas que são incluídos neste campo, além das mudanças que os métodos educacionais têm sofrido ao longo do tempo, fazendo com que os modelos tenham que ser modificados.

Burke *et al.* (2003) também classificam as restrições nas categorias *hard* e *soft*, sendo as restrições *hard* aquelas que são requisitos rigorosos ou que não devem ser violadas sob nenhuma circunstância. Por conseguinte, as restrições *soft* são aquelas desejáveis e não absolutamente essenciais, mas é importante que essas restrições sejam satisfeitas tanto quanto

o possível. Portanto, cada solução deve indicar o número de restrições *soft* que foram violadas, sob a hipótese de que todas as restrições *hard* foram satisfeitas.

Para Lewis (2007), os problemas de grades horárias somente serão considerados factíveis se sua solução satisfizer a todas as restrições *hard* impostas. As restrições *soft* deverão ser obedecidas se possível e frequentemente descrevem o critério para a qualidade da solução, onde a grade horária criada será de mais qualidade à medida que mais dessas restrições são satisfeitas.

Alguns exemplos de restrições *hard* são trazidos por Burke *et al.* (2002):

- Nenhum recurso (aluno ou professor) pode estar em mais de um lugar ao mesmo tempo;
- Para cada período de tempo deve haver recursos suficientes disponíveis (salas, vigilantes, etc.) para os eventos agendados para aquele período.

Burke *et al.* (2002) também sugerem alguns exemplos de restrições *soft*:

- Atribuição de tempo: um curso deve ser alocado a um determinado período de tempo;
- Restrições de tempo entre eventos: um curso deve ser agendado antes ou depois de outro;
- Atribuição de recursos: professores podem preferir lecionar em um determinado local.

Porém, deve-se observar que cada problema de grade horária poderá apresentar restrições *hard* e *soft* específicas, a depender das condições e características da universidade objeto de análise.

Segundo Lewis (2007), uma restrição fundamental nos problemas de grades horárias, que é a sobreposição de eventos, traduz-se na impossibilidade de um aluno ou professor estarem presentes em dois eventos diferentes no mesmo momento.

Observa-se, de acordo com Murray *et al.* (2006), que o processo de geração de uma grade de horário automatizada de um curso universitário deve funcionar como um suporte aos coordenadores dos departamentos das instituições, ao invés de objetivar substituí-los nessa tarefa de construção da grade horária.

### 3. TÉCNICAS METAHEURÍSTICAS

De acordo com a definição da *Metaheuristics Network* (2004), um projeto de pesquisa apoiado por um programa da comunidade europeia, “...uma metaheurística pode ser vista

como uma estrutura geral de algoritmo que pode ser aplicada a diferentes problemas de otimização com poucas alterações para adaptação para um problema específico”.

Para Burke *et al.* (2003), os problemas de grade horária têm sido frequentemente estudados devido à sua ampla extensão e aplicação. No entanto, esses problemas geralmente são resolvidos manualmente devido à falta de ferramentas computacionais adequadas (CAMBAZARD *et al.*, 2004).

Cambazard *et al.* (2004) afirmam que embora muitas abordagens baseadas principalmente em busca local ou programação por restrições têm sido utilizadas com relativo sucesso nos últimos anos, elas geralmente são aplicadas a problemas muito específicos.

Segundo Guéret *et al.* (1996), os métodos mais comuns para solução desses problemas são herdados da PO, como *graph coloring* e técnicas de *network flow*, e também da programação matemática, com os procedimentos de busca local como arrefecimento simulado e busca tabu, como também a partir de algoritmos genéticos. Esses métodos reconhecidos e amplamente utilizados têm gerado bons resultados, porém, geralmente carecem de flexibilidade. Além disso, é difícil encontrar um modelo que considere todas as restrições.

Na sua pesquisa, Lewis (2007) aborda que as técnicas iniciais dos algoritmos para os problemas de grades horárias eram baseadas na heurística do *graph colouring*. Entretanto, outras abordagens para o problema se utilizaram de técnicas baseadas na programação por restrições, além de outros estudos que exploraram a programação inteira. A partir da década passada surgiu um interesse na aplicação de algoritmos metaheurísticos para esses problemas.

Em seu sítio na internet, a Metaheuristics Network (2004) considera cinco principais paradigmas metaheurísticos: a otimização da colônia de formigas, a computação evolucionária, a busca local iterativa, o arrefecimento simulado e a busca tabu. Este estudo se concentrará nos paradigmas citados anteriormente, com exceção dos procedimentos utilizados para a otimização da colônia de formigas.

### 3.1 Algoritmos genéticos

Os algoritmos genéticos são uma analogia à teoria da evolução de Darwin. A partir de uma população de grades de horário factíveis, as grades melhores avaliadas por uma função de avaliação (*fitness*) são selecionadas para formar a base para a próxima iteração, ou seja, a próxima geração de grades de horário e assim melhorando a avaliação geral da população de grades de horário mantendo-se a diversidade entre elas (BURKE *et al.*, 1997).



Segundo Vieira e Macedo (2011), diversos indivíduos diferentes são gerados aleatoriamente e somente os mais bem avaliados permanecem. O procedimento ocorre com a criação de indivíduos, avaliação, seleção dos mais aptos, realização do cruzamento de seus dados, e geração de novos indivíduos resultantes do processo, que terão grande probabilidade de serem melhores que a geração anterior.

A representação genética mais comum para as grades de horário é a do cromossomo, que é formado por vários genes. São os genes que possuem as informações sobre as turmas, ou seja, disciplina, professor, horários das aulas, etc. Assim, na etapa de reprodução, grades de horários diferentes realizam o cruzamento com a troca de suas informações, gerando as grades que constituirão a próxima população e a posterior repetição do processo. Nesse procedimento podem ocorrer mutações nos indivíduos criados, o que ocasiona o surgimento de novas soluções.

### 3.2 Busca local iterativa

De acordo com Di Gaspero e Schaerf (2002), os algoritmos de busca local partem de um estado inicial, que pode ser obtido com alguma outra técnica ou gerado aleatoriamente, e começam uma pesquisa dentro do espaço de busca através de movimentos, passando de um estado para outro dentro da vizinhança. A vizinhança de um estado pode ser descrita nas mudanças que são aplicadas para transformar o estado atual em outros membros do espaço de busca a cada movimento realizado.

As técnicas de busca local diferem uma da outra de acordo com a estratégia utilizada para selecionar o movimento e parar a busca. A busca local iterativa é uma das técnicas mais comuns e simples de busca local e também é conhecida por *Hill Climbing* ou subida da colina.

A técnica baseia-se na ideia de realizar apenas movimentos que melhorem ou se igualem ao valor da função custo ou função de avaliação de um dado estado.

### 3.3 Arrefecimento simulado

Para Schaerf (1999), esta é uma técnica de busca local probabilística para encontrar soluções para problemas de otimização. Seu nome é uma metáfora de um processo térmico utilizado na metalurgia, onde inicialmente aumenta-se a temperatura de um sólido para depois realizar o resfriamento lentamente até que o material se solidifique.





Burke *et al.* (1997) trazem que em cada iteração um vizinho é gerado e aceito como a grade de horário atual se possuir menores penalidades, ou seja, se satisfizer mais restrições. Mas, se o vizinho possuir mais penalidades, ele pode ser aceito de acordo com uma probabilidade que é relacionada a um parâmetro de controle chamado de temperatura. A temperatura, ou a probabilidade de vizinhos inferiores serem aceitos, é diminuída a cada iteração ou depois de um número determinado de iterações. Isso ocorre para evitar os ótimos locais existentes no espaço de solução.

### 3.4 Busca tabu

A técnica assemelha-se bastante ao arrefecimento simulado discutido anteriormente. A diferença básica encontra-se no método pelos quais os movimentos para a criação de novas grades de horário são aceitos. Uma busca tabu mantém uma lista de movimentos tabu, referentes às grades de horário que devem ser proibidas para prevenir que a busca permaneça na mesma área do espaço de soluções e assim escape de ótimos locais. Essas grades de horário são consideradas tabus depois de terem sido visitadas e ser verificado que não trariam uma solução satisfatória para o problema (BURKE *et al.*, 1997).

A lista tabu é geralmente de um tamanho fixo, sendo que os movimentos mais antigos são removidos à medida que novos movimentos são adicionados à lista. Porém, por conta dos movimentos tabus, pode-se impedir a busca de alcançar novas soluções melhoradas, assim um nível de aspiração é geralmente mantido, representando a melhor solução visitada até o momento. Então, se uma grade tabu alcança o nível de aspiração, ela deve ser removida da lista tabu para possibilitar que a pesquisa progrida.

## 4. CONCLUSÕES

Neste estudo foi realizado um apanhado geral referente ao problema de grades horárias universitárias, objetivando a conscientização da comunidade acadêmica para a sua importância cada vez mais crescente.

Para isso foram trazidos os conceitos das técnicas comumente utilizadas nas abordagens dos modelos metaheurísticos de resolução desse tipo de problema, lembrando que geralmente é requerida uma modelagem específica para as particularidades de cada estudo de caso.

Em trabalhos futuros é interessante a aplicação dessas diferentes abordagens em casos práticos, para que possa ser avaliada a eficiência de cada técnica.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional Para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2007.

BURKE, E. K.; JACKSON, K.; KINGSTON, J. H.; WEARE, R. Automated University Timetabling: The State of Art. **Computer Journal**, v. 40, n. 9, p. 565-571, july, 1997

BURKE, E. K.; PETROVIC, S. Recent Research Directions in Automated Timetabling. **European Journal of Operational Research**, v. 140, p. 266-280, 2002.

BURKE, E. K.; BYLOV, Y.; NEWALL, J.; PETROVIC, S. A Time-predefined Approach to Course Timetabling. **Yugoslav Journal of Operations Research**, v. 13, n. 2, p. 139-151, 2003.

CAMBAZARD, H.; DEMAZEAU, F.; JUSSIEN, N.; DAVID, P. Interactively solving school timetabling problems using extensions of constraint programming. In: BURKE, E. K.; TRICK, M. (Eds.). **Practice and theory of automated timetabling V: selected papers**. Pittsburgh: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 190-207.

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

DE WERRA, D. An Introduction to Timetabling. **European Journal of Operational Research**, v. 19, n. 2, p. 151-162, feb. 1985.

DI GASPERO, L.; SCHAERF, A. Multi-neighbourhood local search with application to course timetabling. In: BURKE, E. K.; DE CAUSMAECKER, P. (Eds.). **Practice and theory of automated timetabling IV: selected papers**. Gent: Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 262-275.

GUÉRET, C.; JUSSIEN, N.; BOIZUMAULT, P.; PRINS, C. Building university timetables using constraint logic programming. In: BURKE, E. K.; ROSS, P. (Eds.). **Practice and**





**theory of automated timetabling**: selected papers. Edinburgh: Springer Berlin Heidelberg, 1996. p. 130-145.

LEWIS, R. A survey of metaheuristic-based techniques for university timetabling problems. **OR Spectrum**, v. 30, n. 1, p. 167-190, 2007.

METAHEURISTICS NETWORK. **Project Summary**, 2004. Disponível em: <http://www.metaheuristics.org/index.php?main=1>>. Acesso em: 10 de nov. 2013.

MICHALEWICZ, Z.; FOGEL, D. B. **How to Solve It**: Modern Heuristics. Berlim: Springer, 2000.

MURRAY, K.; MULLER, T.; RUDOVÁ, H. Modeling and solution of a complex university course timetabling problem. In: BURKE, E. K.; RUDOVÁ, H. (Eds.). **Practice and theory of automated timetabling VI**: selected papers. Brno: Springer Berlin Heidelberg, 2006. p. 189-209.

PAPADIMITRIOU, C. H.; STEIGLITZ, K. **Combinatorial Optimization**: Algorithms and Complexity. New York: Dover Publications, 1998.

SCHAERF, A. A Survey of Automated Timetabling. **Artificial Intelligence Review**, Norwell, v. 13, n. 2, p. 87-127, apr. 1999.

VIEIRA, F.; MACEDO, H. Sistema de Alocação de Horários de Cursos Universitários: Um Estudo de Caso no Departamento de Computação da Universidade Federal de Sergipe. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 7, n. 3, mar. 2011.